

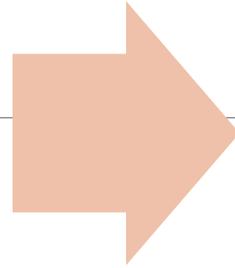


ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВЕТРА

ЛЕКЦИЯ 12

Эффективность применения ВЭС можно говорить, если среднегодовая скорость ветра превышает 3 м/с.

Прогноз развития ВИЭ показывает, что их доля в мировом балансе энергопотребления к 2030 году может составить до 20%.



Однако прогнозы будут сбываться при условии как можно более быстрого и широкого внедрения этих источников энергии: каждый новый источник требует от 30 до 50 лет для того, чтобы его доля в общем энергобалансе возросла с 1 до 10%.

НАИБОЛЕЕ ОСТРЫЙ ВОПРОС ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ – ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ.

Обоснование параметров ВЭУ, ее размеров, типа, возможного количества электроэнергии производится на основе *техникоэкономических расчетов* и *инженерного проектирования* с учетом **ТРЕБОВАНИЙ** потребителя, структуры его электрохозяйства, связи с энергосистемой, количества потребляемой электроэнергии, затрат на оплату этой энергии, а также местоположения объекта энергоснабжения и природно-климатических характеристик в этом районе.



Валовый ресурс (потенциал) ветровой энергетики региона (страны) – это часть среднесуточной суммарной ветровой энергии, которая доступна для использования на площади региона (страны) в течение одного года.

Технический ресурс ветровой энергетики региона (страны) это часть валового потенциала ветровой энергетики, которая может быть использована при современном уровне развития технических средств и соблюдения экологических норм.

Технический ресурс ветровой энергетики

$$W_T = 0,01 \frac{N_C}{D^2} TS,$$

где N_C – средняя мощность ВЭУ, которая определяется по формуле

$$N_C = \frac{\pi D^2}{8} \rho \sum_{i=1}^n v_i^3 \eta_{ВЭУ} t_i$$

где $\eta_{ВЭУ}$ общий КПД ВЭУ, который определяется по формуле

$$\eta_{ВЭУ} = c_p \eta_{мех} \eta_{эл}$$

где c_p – коэффициент использования ветра;
 $\eta_{мех}$ – механический КПД ВЭУ;
 $\eta_{эл}$ – электрический КПД ВЭУ.



Валовый потенциал ветровой энергетики определяется по формуле:

$$W_B = 0,025 \rho TS \sum_{i=1}^n v_i^3 t_i,$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³ ;
 $T = 8760$ – число часов в году;
 S – площадь территории, м² ;
 v – среднесуточная скорость ветра в диапазоне i ;
 t – вероятность нахождения скорости в диапазоне i .

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЗАВИСИТ ТОЛЬКО ОТ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ВЕТРА И ЕЁ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Однако, скорость ветра зависит от высоты, а высота башни выбирается в зависимости от мощности (диаметра ветроколеса), то таким образом технический потенциал зависит также и от мощности ВЭУ.

Количество ветровой энергии, которую **можно получить** в каждом конкретном месте, характеризуется техническим ветроэнергетическим потенциалом, зависящим от скорости ветра. За основу принимаются средние многолетние значения скоростей ветра на высоте флюгера, пересчитанные на высоту ветроагрегата.

Выработка электроэнергии ВЭУ определяется по формуле

$$\mathcal{E} = 0,01T \sum_{i=v_{\text{в}}}^{v_{\text{отк}}} P_{\text{ВЭУ}i}(k_h v) f_i(v)$$

где $P_{\text{ВЭУ}i}(k_h v)$ – зависимость полезной мощности ВЭУ от скорости ветра на высоте оси ветроколеса, при i , меняющемся в диапазоне от скорости включения $v_{\text{в}}$ до скорости отключения $v_{\text{от}}$ с шагом 0,5–1 м/с; $k_h v$ – скорость ветра на высоте оси ветроколеса, м/с, где k_h – поправочный коэффициент, учитывающий разницу высот

$$k_h = \left(\frac{h_{\text{оси}}}{h_{\text{ф}}} \right)^n$$

где $h_{\text{оси}}$ – высота оси ветроколеса относительно основания башни, м; $h_{\text{ф}}$ – высота флюгера, м; n – степенной коэффициент, учитывающий характер изменения скорости ветра с высотой; $f_i(v)$ – интегральная повторяемость скорости ветра, %.

Для расчетов в указанном диапазоне скоростей ветра полезную мощность ВЭУ $P_{\text{ВЭУ}}$ (кВт) для заданной скорости ветра на высоте оси ветроколеса $k_h v$ (м/с) и диаметре ротора ВЭУ D_1 (м) определяется по формуле

$$P_{\text{ВЭУ}} = P_{\text{уд}} S_{\text{ВЭУ}} \eta_p \eta_g \sigma 10^{-3}$$

где $P_{\text{уд}}$ – удельная мощность ветрового потока со скоростью $k_h v$ через единичную площадь, определяется по формуле (с учетом, что ρ – плотность воздуха, кг/м³)

$$P_{\text{уд}} = 0,5 \rho (k_h v)^3, \text{ Вт/м}^2,$$

$S_{\text{ВЭУ}}$ – отнормированная площадь ВЭУ с горизонтальной осью вращения, вычисляется по формуле

$$S_{\text{ВЭУ}} = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ м}^2,$$

D – диаметр ветроколеса; σ – коэффициент мощности (равный 0,45), отн. ед.;

η_p – КПД ротора ВЭУ (порядка 0,9), отн. ед.; η_g – КПД генератора (порядка 0,95), отн. ед.

В ветроэнергетике обычно используют рабочий диапазон скоростей ветра, **не превышающих 25 м/с.**

Эта скорость соответствует 9-му ветру (шторм) по 12-балльной шкале Бофорта.

Значения удельной мощности $P_{уд}$ для рабочего диапазона скоростей ветра

$k_{нV},$ м/с	2	3	4	5	10	14	18	20	23	25
$P_{уд},$ Вт/м ²	4,9	16,55	39,2	76,6	613	1682	3575	4904	7458	9578



Сэр Фрэнсис Боофорт — британский адмирал, военный гидрограф и картограф. Разработал в 1805 году двенадцатибалльную шкалу оценки скорости ветра по его действию на наземные предметы и по волнению моря.

Шкала Бофорта – двенадцатибалльная шкала, принятая ВМО для приближенной оценки скорости ветра по его воздействию на наземные предметы или по волнению в открытом море

0 баллов	0,0-0,2 м/с	Штиль		
1 балл	0,3-1,5 м/с	Тихий ветер		
2 балла	1,6-3,3 м/с	Лёгкий ветер		
3 балла	3,4-5,4 м/с	Слабый ветер		
4 балла	5,5-7,9 м/с	Умеренный		
5 баллов	8,0-10,7 м/с	Свежий ветер		
6 баллов	10,8-13,8 м/с	Сильный ветер		
7 баллов	13,9-17,1 м/с	Крепкий ветер		
8 баллов	17,2-20,7 м/с	Очень крепкий		
9 баллов	20,8-24,4 м/с	Шторм		
10 баллов	24,5-28,4 м/с	Сильный шторм		
11 баллов	28,5-32,6 м/с	Жестокий шторм		
12 баллов	32,7 и более	Ураган		

Экономическая эффективность использования ВЭУ для энергоснабжения небольших потребителей определяется имеющимся ветроэнергетическим потенциалом, тарифом на электроэнергию у потребителя, стоимостью используемой ВЭУ, техническими условиями на подключение и рядом других факторов

Срок окупаемости при внедрении ветроагрегата может быть определен по формуле

$$t_{ок} = \frac{P \cdot c}{\mathcal{E} \cdot C_T - I_{экс}}$$

где $P \cdot c$ – общая стоимость установки (капитальные затраты) с учетом стоимости агрегата, транспортировки, таможенных расходов, проектных и строительно-монтажных работ, тенге; \mathcal{E} – электроэнергия, вырабатываемая установкой в год, кВт·ч/год; C_T – тариф на электроэнергию, тенге/кВт·ч; $I_{экс}$ – издержки эксплуатации, тенге/год.

Стоимость энергии, вырабатываемой ВЭУ тенге/(кВт·ч) связана со сроком службы установки $t_{сc}$ соотношением

$$C = \frac{P \cdot c + I_{экс} \cdot t_{сc}}{\mathcal{E} \cdot t_{сc}}$$

Общая прибыль от использования ВЭУ может быть определена как ежегодная прибыль от сэкономленной электроэнергии, произведенной установкой, умноженная на период ее работы после срока окупаемости с учетом ежегодной корректировки тарифа и издержек эксплуатации

$$\Pi = (t_{сc} - t_{ок}) \sum_{i=t_{ок}} (\mathcal{E}_i C - I_{экс})$$

Также технико-экономическое совершенство ВЭУ можно характеризовать таким параметром как коэффициент использования установленной мощности ветроустановки $K_{уст}$.

Он представляет собой отношение действительной выработки электроэнергии за какой-либо период времени, например за год ($W_{год}$), к максимально возможной выработке ($W_{max} = 8760P_{ном}$) энергии в случае, если бы ВЭУ работала весь этот период времени на номинальной (т. е. 100 %) мощности $N_{ном}$

$$k_{уст} = \frac{W_{год}}{8760P_{ном}}$$

Примерные расчеты различных объектов показали, что срок окупаемости объектов может составлять 3,5–5 лет и снижается в условиях роста тарифа на электроэнергию.

Стоимость ВЭУ зависит от их мощности, стоимости производства соответствующего оборудования, расходов на транспортировку и стоимости строительства.

Основной подход к расчёту экономических показателей ВЭУ включает определение эффективности ВЭУ в конкуренции с традиционными источниками электроэнергии (ТИЭ) в конкретном регионе.



Стоимость
вырабатываемой
электроэнергии ВЭУ

$$C_{ээ} = \frac{P_{ВЭУ} C (1 + \gamma T_{сл})}{T_{сл} TK}$$

где $P_{ВЭУ}$ – региональный экономический фактор стоимости ВЭУ в регионе; C – удельная стоимость установленной мощности ВЭУ, тенге/кВт ч; $\gamma = 0,05$ – коэффициент нормы эксплуатационных издержек; $T_{сл}$ – срок службы ВЭУ, год; K – коэффициент использования установленной мощности, %

Срок окупаемости ВЭУ

$$T_{OK} = \frac{P_{ВЭУ} C}{TKC_{ТИЭ} - \gamma P_{ВЭУ} C}$$

где $C_{ТИЭ}$ – стоимость электроэнергии от традиционных источников, тенге.

Экономический эффект от использования ВЭУ

$$\mathcal{E}_{ЭФ} = nQT_{СЛ} (T_{СЛ} - T_{OK})(EC_T - I_{ЭКС})(C_{П} - C_T)$$

где n – число ВЭУ в составе ВЭС; Q – годовой дефицит электроэнергии в регионе, кВт ч/год; C_T – удельная стоимость производства электроэнергии от ТИЭ (региональный тариф), тенге/кВт ч; $E = NT$ – электроэнергия, вырабатываемая ВЭУ в год, кВт ч/год; $I_{ЭКС} = \gamma K$ – издержки эксплуатации, тенге; K – капитальные затраты (общая стоимость ВЭУ), тенге.

Анализ данных по времени окупаемости показал, что для экономической целесообразности использования ВЭУ необходимо, чтобы **срок службы установки был больше срока её окупаемости**, т.е. необходимо, чтобы выполнялось условие

$$T_{СЛ} \geq T_{OK}$$

Для выполнения этого условия необходимо, чтобы коэффициент использования установленной мощности K ветроустановки был больше критического значения, которое определяется по формуле

$$K \geq K_{КР} = \frac{(1 + \gamma T_{СЛ}) P_{ВЭУ} C}{T_{СЛ} T_{ЭФ} C_{ЭЭ}}$$

В общем случае экономический потенциал ветровой энергетики

$$W_{Э} = \frac{KQ \left(\frac{C_{П}}{C_T} - 1 \right)}{K_{КР} - K}$$

Таким образом, значение экономического потенциала ветровой энергетики увеличивается при повышении значения коэффициента использования установленной мощности K .

Исследования, проведенные в ряде стран, показали, что наиболее экономичными являются ВЭУ мощностью 100–300 кВт, ожидается в будущем 250–350 кВт.

Рентабельность ВЭУ средней мощности может быть обеспечена при разработке комбинированных систем бесперебойного электроснабжения, в состав которых входят солнечные электростанции или минигидроэлектростанции, или, где в качестве резервного источника электроэнергии используются газопоршневые электростанции (ГПЭ)

Электрический КПД ГПЭ считается высокий, в сравнении с дизельными электростанциями, и при работе на качественном природном газе составляет 39 – 44% .

Важной особенностью ГПС является то, что они способны работать в режиме когенерации, то есть как тепловые электростанции. Температура выхлопных газов на выходе из силовой машины ГПЭ – $390 \pm 10^\circ\text{C}$.

При этом, электроэнергию и тепловую энергию ГПЭ вырабатывают одновременно, соотношение выдачи электрической и тепловой энергии 1 : 1.



Несмотря на довольно высокую, в настоящее время, стоимость фотоэлектрических батарей, их использование совместно с ВЭУ в некоторых случаях может быть **эффективным**. Поскольку в зимнее время существует большой потенциал ветра, а летом в ясные дни максимальный эффект можно получить, используя солнечную фотоэлектрическую станцию, то сочетание этих ресурсов оказывается выгодным с экономической точки зрения для потребителей.

ТИПЫ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ

По мощности и области применения ветрогенераторы бывают:

- ✓ промышленные (мощность от 500 кВт);
 - ✓ бытовые (мощность 0-10 кВт).
-



Промышленные



Бытовые

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ

Модели ветрогенераторов бывают разной конструкции, различаются по мощности.

По геометрии вращения оси основного ротора их делят на:

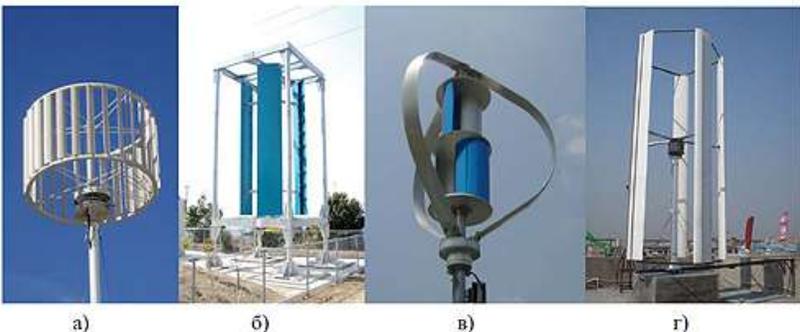
- ✓ Вертикальный тип - турбина расположена вертикально по отношению к плоскости земли. Начинает работать при небольшом ветре.
- ✓ Горизонтальный тип - ось ротора вращается параллельно земной поверхности. Имеет большую мощность преобразования энергии ветра в переменный и постоянный ток.



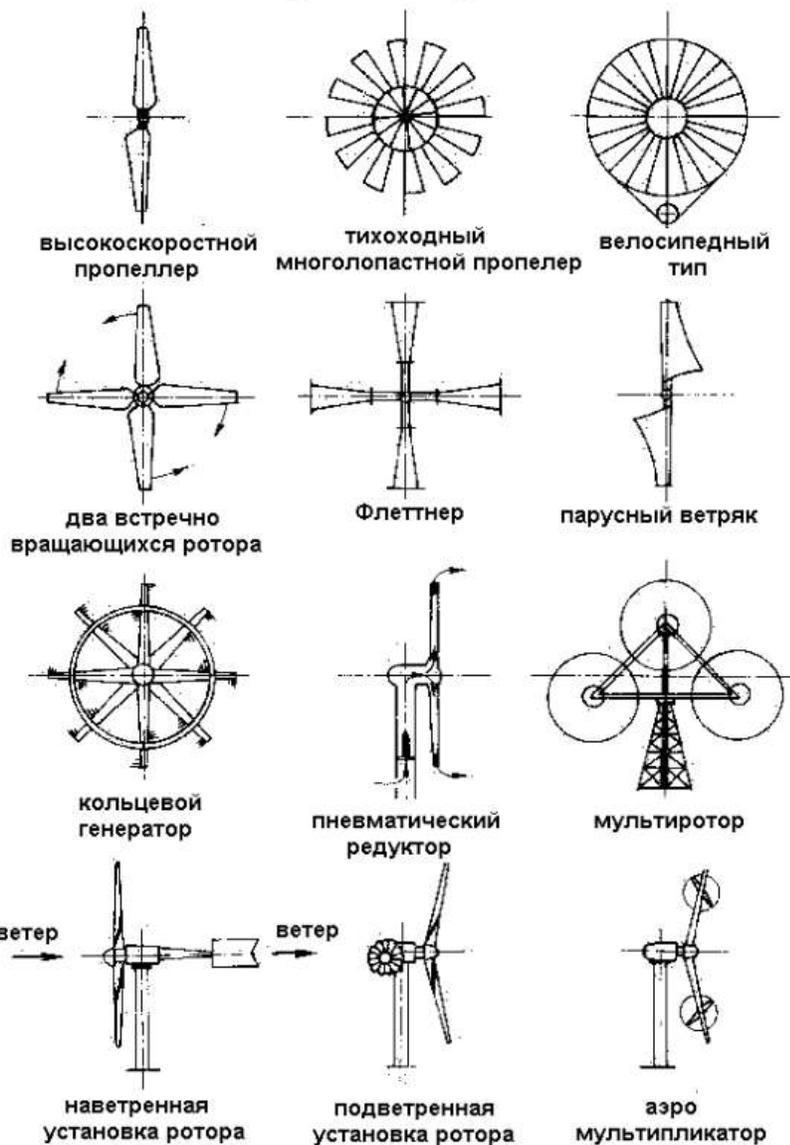


Сначала ветрогенератор превращает кинетическую энергию ветра в механическую энергию ротора, а затем в электрическую энергию.

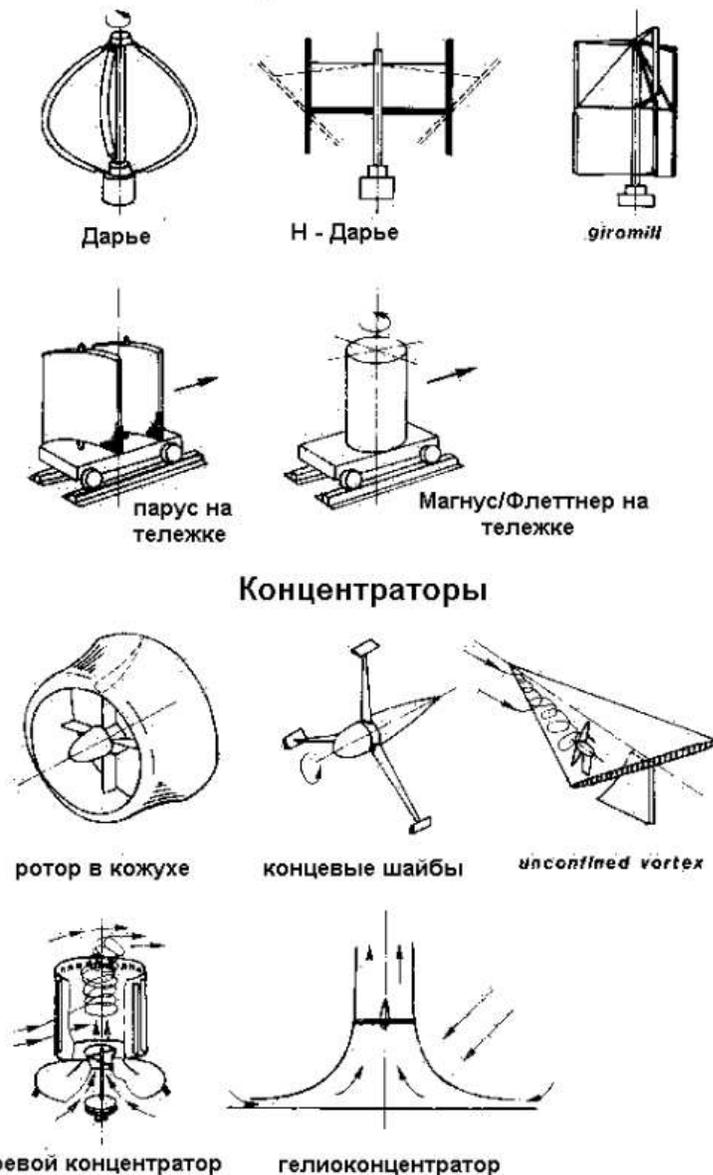
Мощность ветрогенератора может быть от 5 кВт до 4500 кВт. Современные устройства генерируют энергию даже очень слабого ветра – от 4 м/с.



Горизонтальная ось.
Установки движимые подъемной силой



Вертикальная ось



Ветрогенератор (ветроэлектрическая установка или сокращенно ВЭУ) – это прибор для превращения энергии ветра в электрическую энергию.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Преимущества:

1. Отсутствие загрязнения окружающей среды - производство энергии из ветра не приводит к выбросам вредных веществ в атмосферу или образованию отходов.
2. Использование возобновляемого, неисчерпаемого источника энергии, экономия на топливе, на процессе его добычи и транспортировки.
3. Территория в непосредственной близости может быть полностью использована для сельскохозяйственных целей.
4. Стабильные расходы на единицу полученной энергии, а также рост экономической конкурентоспособности по сравнению с традиционными источниками энергии.
5. Минимальные потери при передаче энергии – ветряная электростанция может быть построена как непосредственно у потребителя, так и в местах удаленных, которые в случае с традиционной энергетикой требуют специальных подключений к сети.
6. Простое обслуживание, быстрая установка, низкие затраты на техническое обслуживание и эксплуатацию.

Недостатки:

1. Высокие инвестиционные затраты - они имеют тенденцию к снижению в связи с новыми разработками и технологиями. Также стоимость энергии из ветра постоянно снижается.
2. Изменчивость мощности во времени - производство электроэнергии зависит, к сожалению, от силы ветра, на которую человек не может повлиять.
3. Шум – исследования шума, выполненные с использованием новейшего диагностического оборудования, не подтверждают негативного влияния ветряных турбин. Даже на расстоянии 30-40 м от работающей станции, шум достигает уровня шума фона, то есть уровня среды обитания.
4. Угроза для птиц - в соответствии с последними исследованиями, вероятность столкновения лопастей ветряка с птицами не больше, чем в случае столкновения птицы с высоковольтными линиями традиционной энергетике.
5. Возможность искажения приема сигнала телевидения - незначительна.
6. Изменения в ландшафте.